

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-211507

(43) 公開日 平成9年(1997)8月15日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 F 1/35

識別記号

5 0 1

庁内整理番号

F I

G 0 2 F 1/35

技術表示箇所

5 0 1

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号

特願平8-21337

(22) 出願日

平成8年(1996)2月7日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 菅谷 靖

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 大昔 義之 (外1名)

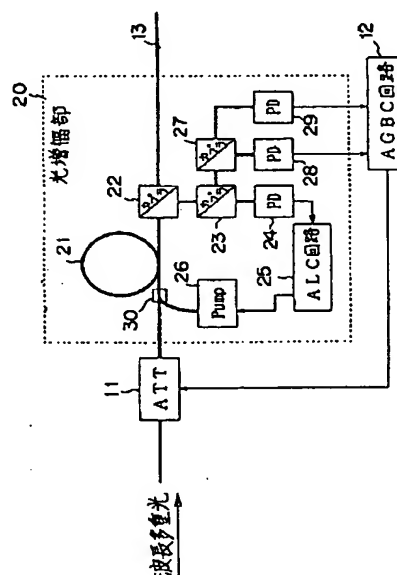
(54) 【発明の名称】 光等化増幅器および光等化増幅方法

(57) 【要約】

【課題】 波長多重光を増幅するときに、複数の波長成分の光レベルを等化するとともに光出力レベルを一定にする光等化増幅器を提供する。

【解決手段】 可変光減衰器11は、AGBC回路12の制御に従って波長多重光を減衰させる。希土類ドープファイバ21は、光源26が生成する励起光によって励起され、可変光減衰器11から出力される波長多重光を増幅する。ALC回路25は、希土類ドープファイバ21から出力される波長多重光の平均光レベルが一定になるように光源26を制御する。波長多重カプラ27は、希土類ドープファイバ21によって増幅された波長多重光から特定の2つの波長の光を取り出す。AGBC回路12は、上記2つの波長の光レベルが互いに一致するように可変光減衰器11の減衰量を制御する。

第1の態様の光等化増幅器の構成図



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 波長多重光の光レベルを調整する可変光減衰部と、

上記可変光減衰部から出力される波長多重光を増幅する第 1 の光ファイバ増幅部と、

上記第 1 の光ファイバ増幅部に励起光を供給する光源と、を有し、

上記第 1 の光ファイバ増幅部から出力される波長多重光の光レベルが一定になるように上記励起光を制御するとともに、上記第 1 の光ファイバ増幅部から出力される波長多重光の一部を複数の波長帯域に複数分岐し、各々の検出光レベルが互いに等しくなるように上記可変光減衰部を制御することを特徴とする光等化増幅器。

【請求項 2】 上記可変光減衰部の前段に第 2 の光ファイバ増幅部を設け、その第 2 の光ファイバ増幅部は、波長多重光を一定の利得で増幅して上記可変光減衰部へ送ることを特徴とする請求項 1 に記載の光等化増幅器。

【請求項 3】 上記可変光減衰部の前段に第 2 の光ファイバ増幅部を設け、その第 2 の光ファイバ増幅部は、波長多重光を一定の励起光で増幅して上記可変光減衰部へ送ることを特徴とする請求項 1 に記載の光等化増幅器。

【請求項 4】 波長多重光の一部を複数の波長帯域に複数分岐し、ある一定レベル以上に検出されたなかで、最も短い波長帯域の検出光レベルと最も長い波長帯域の検出光レベルが互いに等しくなるように上記可変光減衰部を制御することを特徴とする請求項 1 に記載の光等化増幅器。

【請求項 5】 波長多重光を増幅する第 1 の光ファイバ増幅部と、

上記第 1 の光ファイバ増幅部に励起光を供給する光源と、

上記第 1 の光ファイバ増幅部から出力される波長多重光の光レベルを調整する可変光減衰部と、を有し、

上記第 1 の光ファイバ増幅部から出力される波長多重光の一部を複数の波長帯域に複数分岐し、各々の検出光レベルが互いに等しくなるように上記励起光を制御すると共に、上記可変光減衰部から出力される波長多重光の光レベルが一定になるように上記可変光減衰部を制御することを特徴とする光等化増幅器。

【請求項 6】 上記可変光減衰部の後段に第 2 の光ファイバ増幅部を設け、その第 2 の光ファイバ増幅部は、上記可変光減衰部から出力される波長多重光を一定の利得で増幅することを特徴とする請求項 5 に記載の光等化増幅器。

【請求項 7】 上記可変光減衰部の後段に第 2 の光ファイバ増幅部を設け、その第 2 の光ファイバ増幅部は、上記可変光減衰部から出力される波長多重光を一定の励起光で増幅することを特徴とする請求項 5 に記載の光等化増幅器。

【請求項 8】 上記可変光減衰部の後段に第 2 の光ファイバ増幅部を設け、その第 2 の光ファイバ増幅部は、上記可変光減衰部から出力される波長多重光を一定の利得で増幅することを特徴とする請求項 5 に記載の光等化増幅器。

イバ増幅部を設け、その第 2 の光ファイバ増幅部から出力される波長多重光の光レベルが一定になるように制御することを特徴とする請求項 5 に記載の光等化増幅器。

【請求項 9】 波長多重光の一部を複数の波長帯域に複数分岐し、ある一定レベル以上に検出されたなかで、最も短い波長帯域の検出光レベルと最も長い波長帯域の検出光レベルが互いに等しくなるように上記励起光を制御することを特徴とする請求項 5 に記載の光等化増幅器。

【請求項 10】 波長に対して互いに異なる増幅特性を有する複数の光ファイバ増幅器を直列に接続し波長多重光を増幅する光ファイバ増幅部と、

上記複数の光ファイバ増幅器にそれぞれ励起光を供給する複数の光源と、

上記光ファイバ増幅部から出力される波長多重光の一部を複数の波長帯域に複数分岐し、各々の検出光レベルに基づいて上記複数の光源がそれぞれ出力する励起光を制御する制御部と、

上記光ファイバ増幅部から出力される波長多重光の光レベルを調整する可変光減衰部と、を有し、

上記可変光減衰部から出力される波長多重光の光レベルが一定になるように上記可変光減衰部の減衰量を制御することを特徴とする光等化増幅器。

【請求項 11】 波長多重光の光レベルを調整する可変光減衰部と、

上記可変光減衰部から出力される波長多重光を増幅する光ファイバ増幅部と、を有し、

上記光ファイバ増幅部から出力される波長多重光の一部を複数の波長帯域に複数分岐し、各々の検出光レベルが互いに等しくなるように上記可変光減衰部を制御することを特徴とする光等化増幅器。

【請求項 12】 可変光減衰器を用いて波長多重光の光レベルを調整するステップと、

上記可変光減衰器によって光レベルが調整された波長多重光を光ファイバ増幅器を用いて増幅するステップと、

上記光ファイバ増幅器から出力される波長多重光の光レベルが一定になるように上記光ファイバ増幅器へ供給する励起光の光レベルを制御するステップと、

上記光ファイバ増幅器から出力される波長多重光の一部を複数の波長帯域に複数分岐し、各々の検出光レベルが互いに等しくなるように上記可変光減衰器の減衰量を制御するステップと、

を有することを特徴とする光等化増幅方法。

【請求項 13】 光ファイバ増幅器を用いて波長多重光を増幅するステップと、

上記光ファイバ増幅器によって増幅された波長多重光の光レベルを可変光減衰器を用いて調整するステップと、

上記光ファイバ増幅器から出力される波長多重光の一部を複数の波長帯域に複数分岐し、各々の検出光レベルが互いに等しくなるように上記光ファイバ増幅器へ供給する励起光の光レベルを制御するステップと、

上記可変光減衰器から出力される波長多重光の光レベルが一定になるように上記可変光減衰器の減衰量を制御するステップと、  
を有することを特徴とする光等化増幅方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光増幅器に係わり、特に、波長多重伝送に利用される光等化増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】ネットワークを介して伝送される情報は、飛躍的に増大している。このような状況に際して、ネットワークの大容量化および高速化に関する技術が研究・開発されている。

【0003】波長多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)伝送は、ネットワークの大容量化に関する技術である。波長多重伝送は、1本の光伝送路上で複数の互いに異なる波長の信号光を多重して伝送する方式であり、各波長ごとにそれぞれ情報を伝送することができる。

【0004】図21は、波長多重伝送における波長と光レベルとの関係を示す図である。図21では、 $1.55\mu\text{m}$ 帯において、4つの互いに異なる波長を使用してそれぞれ信号を伝送する例を示している。これら4つの波長の信号は多重化され、1本の光ファイバを介して転送される。信号を伝送するチャンネルは、各波長に対して割り当てられる。すなわち、図21に示す例の場合、4チャンネル(ch1~ch4)が波長多重されている。

【0005】一方、情報の国際化も急速に進展しており、たとえば、大陸間で伝送される情報量も増加している。このような長距離伝送では、特に大容量の情報を伝送する場合、光ファイバケーブルが使用されている。ところが、光ファイバを介して信号を伝送する場合、伝送距離が長くなるにつれて信号が減衰してしまう。このため、長距離光伝送においては、通常、所定間隔ごとに光増幅器を持ったノードを設け、各ノードで信号を再生して次のノードへ信号を転送する。

【0006】光信号を増幅する光増幅器としては、様々な形態が開発されているが、その中の1つとして光ファイバ増幅器が知られている。特に、 $1.55\mu\text{m}$ 帯においては、エルビウムなどの希土類物質が注入された希土類ドープファイバ光増幅器が広く利用されている。希土類ドープファイバ光増幅器は、信号光とは別に入力する励起光によって希土類物質などを励起状態とし、その励起エネルギーによって信号光を増幅させる構成である。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】光ファイバ増幅器を用いて波長多重光を増幅する場合、通常、入力される波長多重光を一括して増幅する。すなわち、波長多重光が複数のチャンネルを含んでいる場合、それら波長の異なる複

数のチャンネルの信号が一括して増幅される。ここで、光ファイバ増幅器は、一般に、増幅率の波長依存性を持っている。したがって、波長によって増幅率が異なり、チャンネル毎に光レベルが異なってしまうことがある。

【0008】また、光ファイバ増幅器の前段または後段に可変光減衰器を設けることがあるが、可変光減衰器の減衰量にも波長依存性がある。さらに、他の受動デバイスでも波長依存性を持っているものがある。

【0009】これらの要因によって、チャンネルどうしの間での光レベルに偏差が生じてしまう。すなわち、波長によって光レベルにばらつきが生じてしまう。1台の光ファイバ増幅器によって生じる光レベルの偏差は小さいが、たとえば、大陸間を結ぶ海底ケーブルのような長距離伝送においては、数十台の光ファイバ増幅器が設けられるので、上記の偏差が累積すると、特定の信号波長のチャンネルにおいて光レベルが小さくなり、信号対雑音比の劣化を招く恐れがある。

【0010】上述のような問題を解決するための技術としては、たとえば、特開平7-202306号公報がある。特開平7-202306号に示されている増幅器は、波長依存性が互いに異なる2つの光ファイバ増幅器を直列に設け、各波長の信号光の総利得あるいは各波長の出力光レベルが互いに等しくなるように、上記2つの光ファイバ増幅器への励起光を制御する構成である。

【0011】しかしながら、特開平7-202306号に示されている構成では、各波長の出力光レベルを等しくするように2つの励起光レベルを制御することが難しい。また、光伝送システムにおいては、出力光のレベルを一定に保つことが重要である。特開平7-202306号は、出力光のレベルを一定に保つ技術については特に言及していないが、特開平7-202306号に示されている構成で各波長の出力光レベルを互いに等しくする制御と出力光のレベルを一定に保つ制御とを同時に行おうとすると、それら2つの制御に対する各光ファイバ増幅器の役割が明確でないため、その制御がかなり複雑になることが予想される。

【0012】本発明の課題は、波長多重光の増幅において、光出力レベルを一定にするとともに、複数の波長成分の各出力レベルを等化する増幅器を提供することである。また、本発明の他の課題は、上述のような増幅器の制御を容易にし、さらに簡単な構成で実現することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の手段について、図1を参照しながら説明する。本発明の光等化増幅器は、複数の互いに異なる波長の光が多重化された波長多重光を等化増幅する構成である。

【0014】本発明の光等化増幅器は、図1(a)に示すように、波長多重光の光レベルを調整する可変光減衰部1、可変光減衰部1から出力される波長多重光を増幅す

る光ファイバ増幅部 2、および光ファイバ増幅部 2 に励起光を供給する光源 3 を有する。そして、光ファイバ増幅部 2 から出力される波長多重光の光レベルが一定になるように上記励起光を制御するとともに、光ファイバ増幅部 2 から出力される波長多重光の一部を複数の波長帯域に複数分岐し、各々の検出光レベルが互いに等しくなるように可変光減衰部 1 を制御する。

【0015】光ファイバ増幅部 2 の光利得は、波長特性を有し、励起光の光レベルに依存するとともに、光ファイバ増幅部 2 へ入力する信号光（波長多重光）の光レベルにも依存する。したがって、これら 2 つの光レベルを適当に制御することにより、出力光を波長に対して等化しながら所定の光レベルに保つことができる。

【0016】上記構成の光等化増幅器においては、光ファイバ増幅部 2 を励起させるための励起光をフィードバック制御することによって出力光一定制御を行う。また、可変光減衰部 1 の減衰量をフィードバック制御することによって出力光等化制御を行う。

【0017】本発明の他の構成の光等化増幅器は、図 1 (b) に示すように、波長多重光を増幅する光ファイバ増幅部 4、光ファイバ増幅部 4 に励起光を供給する光源 5、および光ファイバ増幅部 4 から出力される波長多重光の光レベルを調整する可変光減衰部 6 を有する。そして、光ファイバ増幅部 4 から出力される波長多重光に含まれる少なくとも 2 つの波長の光レベルが互いに等しくなるように上記励起光を制御するとともに、可変光減衰部 6 から出力される波長多重光の光レベルが一定になるように可変光減衰部 6 を制御する。

【0018】上記構成の光等化増幅器においては、光ファイバ増幅部 4 を励起させるための励起光をフィードバック制御することによって出力光等化制御を行う。また、可変光減衰部 6 の減衰量をフィードバック制御することによって出力光一定制御を行う。

【0019】

【発明の実施の形態】本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。以下では、信号を伝送する光（信号光）の波長として  $1.55\mu\text{m}$  帯を採り上げ、光ファイバ増幅器の 1 つとして希土類ドープファイバ光増幅器を説明する。希土類ドープファイバは、たとえば、エルビウム等が注入されているエルビウムドープファイバである。

【0020】本実施形態の光等化増幅器の構成を説明する前に、本発明の概要を説明する。図 2 は、エルビウムドープファイバ光増幅器の光利得の波長特性を示す図である。エルビウムドープファイバ光増幅器では、増幅波長帯域（ $1.53\sim 1.56\mu\text{m}$  帯）において、励起率（ $E_r$  反転分布率）が高いときは、放出断面積特性の影響が強くなるので長波長側の利得が小さく、励起率が低いときは、放出断面積特性の影響が強くなるので短波長側の利得が小さくなる。すなわち、励起率が高いときは、波長

に対する利得の傾きが負になり、励起率が低いときは、波長に対する利得の傾きが正になる。

【0021】本発明の光等化増幅器は、上記の特性を利用する。すなわち、波長多重光を増幅したときの各波長の光レベルを検出し、その検出結果に従って希土類ドープファイバの励起率を変化させることによって波長特性（利得）を補正する。このことによって、各波長の出力レベルを等化する。

【0022】励起率を変化させる手法としては、励起光パワーを制御する方法と光等化増幅器に入力する信号光の光レベルを制御する方法とがある。励起光パワーを制御するときは、励起光を生成する光源に光等化増幅器の出力をフィードバックする。信号光の入力レベルを制御ときは、希土類ドープファイバの入力側に可変光減衰器を設け、その可変光減衰器に光等化増幅器の出力をフィードバックする。

【0023】エルビウムドープファイバの中には光利得が、図 2 に示したように、増幅波長帯域においては、波長に対して概ねリニアに変化するものもある。したがって、この特性を利用すれば、信号光が含まれる波長帯域内で複数の波長帯域の検出レベルが一致すれば、すべてのチャネルの光レベルが一致することが期待される。これら複数の検出レベルのうち、信号光の最短波長を含む波長帯域のレベルと信号光の最長波長を含む波長帯域のレベルが一致するとき、最もチャネル内の出力レベル差が小さくなると予想できる。

【0024】上記手法を実現するために、たとえば、波長多重カプラ（WDMカプラ）を設ける。波長多重カプラは、光を複数の透過波長帯域で分岐する。図 3 に示す例では、長波長側に重心もつ波長成分と短波長側に重心もつ波長成分とを分離している。

【0025】以下、本発明の実施形態として第 1～第 9 の態様を説明する。各態様の光等化増幅器は、図 21 または図 2 に示す 4 つのチャネル（ch1～ch4）が多重化された波長多重光を等化増幅するものとして説明する。

【0026】図 4 は、第 1 の態様の光等化増幅器の構成図である。第 1 の態様の光等化増幅器は、光増幅部 20 の前段に可変光減衰器（ATT）11 を設けた構成であり、可変光減衰器 11 の減衰量を制御することによって自動利得バランス制御（AGBC: Automatic Matir Gain Balance Control）を行い、光増幅部 20 において希土類ドープファイバ 21 を励起させる励起光の光パワーを制御することによって自動光出力一定制御（ALC: Automatic Level Control）を行う。

【0027】可変光減衰器 11 は、AGBC 回路 12 の制御によって決まる減衰量で入力する波長多重光を減衰させる。可変光減衰器 11 は、たとえば、磁気光学効果を利用したファラデー回転子で実現する。あるいは、Li NbO<sub>3</sub> の電気光学効果や、音響光学的な効果を利用するよ

うにしてもよい。可変光減衰器11の出力光は、希土類ドープファイバ21に入射される。

【0028】希土類ドープファイバ21は、エルビウム等の希土類が注入された光ファイバであり、光源26が生成する励起光によって励起され、その励起エネルギーを利用して波長多重光を増幅する。希土類ドープファイバ21における利得は、励起率によって決まる。励起率は、励起光の光パワーと波長多重光の入力レベルによって決まる。波長多重光の入力レベルを一定とすると、励起光の光パワーが高いほど励起率が高くなり、励起光の光パワーを一定とすると、波長多重光の入力レベルが高いほど励起率が低くなる性質がある。そして、図2を参照しながら説明したように、励起率が高いときは、波長に対する利得の傾きが負になり、励起率が低いときは、波長に対する利得の傾きが正になる性質を持っている。

【0029】希土類ドープファイバ21は、信号光（可変光減衰器11から出力される波長多重光）および励起光（光源26の出力）が入力されるが、これらの光は、合波カプラ30によって合波される。

【0030】光分岐カプラ22は、光ファイバ13へ出力する波長多重光の一部を分岐して光分岐カプラ23へ送る。光分岐カプラ23は、光分岐カプラ22からの波長多重光を所定の比率で分岐し、一方をホトダイオード24へ送り、他方を波長多重カプラ（WDMカプラ）27へ送る。

【0031】ホトダイオード24は、光分岐カプラ23から受信した波長多重光を電気信号に変換してALC回路25に通知する。ここで、分岐カプラ22および23の分岐比は既知なので、ALC回路25は、希土類ドープファイバ21から出力される波長多重光の出力光レベルを検出する。

【0032】ALC回路25は、希土類ドープファイバ21の出力レベル（波長多重光の平均光レベル）に従って光源26を制御する。ALC回路25の構成については後述する。光源（Pump）26は、ALC回路25の制御に従って発光パワーを決定し、励起光を希土類ドープファイバ21へ入射する。

【0033】ALC回路25は、希土類ドープファイバ21の出力レベルをフィードバック信号として励起光の光パワーを決定し、希土類ドープファイバ21の出力レベルが一定の値になるように制御する。換言すれば、ALC回路25は、希土類ドープファイバ21の出力レベルが一定の値になるように光源26の励起光をフィードバック制御する。

【0034】出力レベルを一定の値に保持する理由は、以下の通りである。すなわち、出力レベルが高すぎると、光ファイバ13において非線形効果が顕著になり、信号波形が歪んでしまう。一方、出力レベルが低すぎると、光が到達できる距離が短くなってしまふ。したがって、光伝送システムにおいては、出力レベルを一定に保

つことが重要である。

【0035】波長多重カプラ27は、例えば波長多重光から長波長重心の成分と短波長重心の成分をそれぞれホトダイオード28および29に送る。ここでは、短波長側重心の成分を検出した光をホトダイオード28に送り、長波長側重心の成分を検出した光をホトダイオード29に送る。ホトダイオード28および29は、波長多重カプラ27からそれぞれ受信した光を電気信号に変換してAGBC回路12においてこれらを比較し処理する。

【0036】AGBC回路12は、希土類ドープファイバ21から出力される光の一部を波長多重カプラで分岐し、それぞれ検出した光レベルが互いに同じになるように可変光減衰器11の減衰量をフィードバック制御する。AGBC回路12の構成は後述する。

【0037】図5は、ALC（光出力一定制御）回路の構成例を示す図である。ホトダイオード31は、光レベルを検出する光電素子であり、図4においては、ホトダイオード24に相当する。オペアンプ32は、その反転入力端子にホトダイオード31の出力信号が印加され、その非反転入力端子に基準電圧が印加されている。オペアンプ32の出力は、パワートランジスタ33を制御する。半導体レーザ34は、パワートランジスタ33によって駆動される。半導体レーザ34は、図4においては、光源26に相当する。

【0038】オペアンプ32は、フィードバック系であり、反転入力端子の電位が基準電圧に一致する用に制御される。すなわち、ALC回路は、ホトダイオード31（ホトダイオード24）によって検出される光レベルが一定の値になるように半導体レーザ34（光源26）の発光パワーを自動的に制御する。

【0039】図6は、AGBC（利得バランス制御）回路の構成例を示す図である。ホトダイオード41および42は、ここではそれぞれ互いに異なる波長帯域の光レベルを検出する光電素子であり、図4においては、ホトダイオード28および29に相当する。除算器43は、ホトダイオード41および42によってそれぞれ検出された光レベルの比を算出する。オペアンプ44は、その反転入力端子に除算器43の出力信号が印加され、その非反転入力端子に基準電圧が印加される。オペアンプ44の出力は、パワートランジスタ45を制御する。可変光減衰器46は、パワートランジスタ45によってその減衰量が制御される。可変光減衰器46は、図4においては、可変光減衰器11に相当する。

【0040】オペアンプ44は、フィードバック系であり、反転入力端子の電位が基準電圧に一致する用に制御される。ここで、基準電圧を適当に選べば、ホトダイオード41および42（ホトダイオード28および29）によってそれぞれ検出される光レベルが互いに一致するように制御できる。すなわち、AGBC回路は、互いに

異なる波長帯域の光レベルが互いに一致するように可変光減衰器46（可変光減衰器11）の減衰量を自動的に制御する。

【0041】図7は、第2の態様の光等化増幅器の構成図である。第2の態様の光等化増幅器は、第1の態様の光等化増幅器の前段に光増幅部50を設けた構成である。光増幅部50は、自動光利得一定制御（AGC: Automatic Gain Control）を行う。

【0042】分岐カプラ51は、入力する波長多重光の一部を分岐してホトダイオード52へ送る。ホトダイオード52は、分岐カプラ51から受信した波長多重光を電気信号に変換してAGC回路53に通知する。このことにより、AGC回路53は、入力する波長多重光の入力光レベルを検出する。

【0043】希土類ドープファイバ54および光源55は、基本的に、希土類ドープファイバ21および光源26と同じである。分岐カプラ56は、希土類ドープファイバ54から出力される波長多重光の一部を分岐してホトダイオード57へ送る。ホトダイオード57は、分岐カプラ56から受信した波長多重光を電気信号に変換してAGC回路53に通知する。このことにより、AGC回路53は、希土類ドープファイバ54から出力される波長多重光の出力レベルを検出する。

【0044】AGC回路53は、希土類ドープファイバ54の入力レベルおよび出力レベルに基づいて、希土類ドープファイバ54の平均利得を算出する。そして、AGC回路53は、希土類ドープファイバ54の平均利得が一定になるように光源55が生成する励起光の光パワーを制御する。平均利得を一定にすると、希土類ドープファイバ54励起率も一定になることが期待される。ここで、平均利得とは波長多重光の入力レベルと出力レベルの比をさし、これはc hあたりの平均の利得値に相当する。

【0045】図8は、AGC（利得一定制御）回路の構成例を示す図である。AGC回路は図6に示すAGBC回路と基本的に同じ構成である。ホトダイオード61および62は、図7においては、ホトダイオード52および57に相当する。すなわち、ホトダイオード61は入力光レベルを検出し、ホトダイオード62は出力光レベルを検出する。除算器63は、ホトダイオード61および62によってそれぞれ検出された光レベルの比に基づいて平均利得を求める。オペアンプ64およびパワートランジスタ65は、オペアンプ44およびパワートランジスタ45と同じである。半導体レーザ66は、図7においては、光源55に相当する。

【0046】オペアンプ64は、フィードバック系であり、反転入力端子の電位が基準電圧に一致する用に制御される。ここで、オペアンプ64の反転入力端子の電位は平均利得である。したがって、AGC回路は、平均利得を一定の値に保つように半導体レーザ66の発光パワ

ーを制御する。

【0047】図9は、第3の態様の光等化増幅器の構成図である。第3の態様の光等化増幅器は、第1の態様の光等化増幅器の前段に光増幅部70を設けた構成である。光増幅部70は、自動励起光一定制御（APC: Automatic Power Control）を行う。

【0048】光源72は、APC（励起光一定制御）回路73の制御に従って発光パワーを決定し、希土類ドープファイバ71に励起光を入射する。光増幅部70で発生する利得偏差は、AGBC回路12の制御によって光増幅部20で吸収される。

【0049】第3の態様の光等化増幅器において、光増幅部70の励起光の光パワーを常に高い値に保つようにすれば、低雑音化に寄与する。また、光増幅部70は、入力する波長多重光を分岐することなくすべて希土類ドープファイバ71で増幅するので、信号光のロスが少ない。さらに、光増幅部70は、構成が簡単であり、制御が簡略化される。

【0050】図10は、APC（励起光一定制御）回路の構成例を示す図である。APC回路は、図5に示すALC回路と基本的に同じ構成である。ホトダイオード81は、光源72の出力パワーを検出する。光源72を半導体レーザとすると、ホトダイオード81は、そのレーザ光源のバックパワーを検出することによって光源72の出力パワーを間接的に検出する。オペアンプ82およびパワートランジスタ83の機能は、ALC回路に設けられるオペアンプ32およびパワートランジスタ33として説明したものと同一である。半導体レーザ84は、図9においては、光源72に相当する。

【0051】オペアンプ82は、フィードバック系であり、反転入力端子の電位が基準電圧に一致する用に制御される。すなわち、ALC回路は、励起光の光パワーを一定に保つように半導体レーザ84（光源72）の出力レベルを自動制御する。

【0052】図11は、第4の態様の光等化増幅器の構成図である。第4の態様の光等化増幅器は、光増幅部80の後段に可変光減衰器11を設けた構成であり、光増幅部80において希土類ドープファイバ21を励起させる励起光の光パワーを制御することにより自動利得バランス制御（AGBC: Automatic Gain Balance Control）を行い、可変光減衰器11の減衰量を制御することにより自動光出力一定制御（ALC: Automatic Level Control）を行う。

【0053】光増幅部80に入力する波長多重光は、希土類ドープファイバ21において増幅される。希土類ドープファイバ21から出力される波長多重光は、可変光減衰器11に送られるとともに、その一部が分岐カプラ22によって分岐されて自動利得バランス制御に使用される。すなわち、波長多重カプラ27を用いて波長多重光から短波長を透過重心とした光、長波長を透過重心と

した光を取り出し、ホトダイオード28および29がそれらの光をそれぞれ電気信号に変換してAGBC回路12に通知する。

【0054】AGBC回路12は、図6に示した構成である。ただし、パワートランジスタ45は、半導体レーザ47を駆動する。ここで、半導体レーザ47は光源26に対応する。

【0055】AGBC回路12は、ホトダイオード28および29によって検出される光レベルが互いに一致するように光源26を制御する。すなわち、AGBC回路12は、希土類ドープファイバ21から出力される波長多重光の一部を2分岐した相反する波長帯域の光レベルが一致するように光源26が生成する励起光の光パワーを自動的に制御する。このことによって、希土類ドープファイバ21の光出力を波長に対して等化する。

【0056】光増幅部80において等化増幅された波長多重光は、可変光減衰器11によって所定のレベルに減衰される。可変光減衰器11から出力される波長多重光の一部は、分岐カプラ91によって分岐され、ホトダイオード92によって電気信号に変換される。ALC回路25は、図5に示した構成である。ただし、パワートランジスタ45により、可変光減衰器11を駆動する。

【0057】図12は、第5の態様の光等化増幅器の構成図である。第5の態様の光等化増幅器は、第4の態様の光等化増幅器の後段に図7に示す光増幅部50を設けた構成である。

【0058】図13は、第6の態様の光等化増幅器の構成図である。第6の態様の光等化増幅器は、第4の態様の光等化増幅器の後段に図9に示す光増幅部70を設けた構成である。第6の態様の光等化増幅器は、可変光減衰器11を用いてALC制御を行っているので、可変光減衰器11の出力レベルはほぼ一定に保たれる。このため、可変光減衰器11の後段では、APC制御のみを行えばよく、構成および制御が簡略化される。

【0059】図14は、第7の態様の光等化増幅器の構成図である。第7の態様の光等化増幅器は、第4の態様の光等化増幅器の後段に光増幅部100を設けた構成である。光増幅部100は、希土類ドープファイバ101へ入射する励起光の光パワーを制御することによって光出力一定制御を行う。すなわち、ALC回路25は、希土類ドープファイバ101の出力レベルが一定になるように光源102の光パワーをフィードバック制御する。

【0060】第7の態様の光等化増幅器は、可変光減衰器11を用いて出力光レベルをほぼ一定にした後に、さらに光増幅部100でもう一度光出力一定制御を行う。第7の態様の光等化増幅器は、出力レベルの制御を重視した構成である。

【0061】図15は、第8の態様の光等化増幅器の構成図である。第8の態様の光等化増幅器は、第4の態様の光等化増幅器をベースにし、利得バランス制御を改良

している。

【0062】光増幅部110は、例えばある波長帯域を $n$ 等分し、 $n$ 等分した光のパワーのうち、光が検出されているものについて最長波長、最短波長の検出光パワーのバランスがとれるように、つまり等しくなるように利得バランス制御を行う。

【0063】光分岐スターカプラ111は、希土類ドープファイバ21から出力される光をある波長帯域において $n$ 等分してそれぞれ波長選択フィルタ112-1~112- $n$ へ送る。波長選択フィルタ112-1~112- $n$ を通過した光は、それぞれホトダイオード113-1~113- $n$ によって電気に変換される。波長選択AGBC回路114は、これら電圧値をもとに適切な励起光レベルを与える制御回路である。

【0064】波長選択AGBC回路114は、 $ch1$ ~ $ch4$ のうち、実際に信号を転送しているチャンネルを検出する。実際に信号を転送しているチャンネルは、信号を転送していないチャンネルと比べてその光レベルが大きくなる。したがって、適当な閾値を設定し、光レベルがその閾値よりも大きいチャンネルを検出することにより、実際に信号を転送しているチャンネルを検出できる。図16では、 $ch2$ ~ $ch4$ において信号が転送され、 $ch1$ においては信号が転送されていない状態を示している。

【0065】分岐した各波長帯域の光レベルは、ホトダイオード113-1~113- $n$ によって検出され、波長選択AGBC回路114に通知される。そして、波長選択AGBC回路114は、各チャンネルの光レベルと閾値とを比較することによって実際に信号が転送されているチャンネルを検出する。

【0066】波長選択AGBC回路114は、 $ch2$ ~ $ch4$ において信号が転送されていることを認識すると、それらのチャンネルのなかで最も波長の短いチャンネル( $ch2$ )を含む波長帯域の検出光および最も波長の長いチャンネル( $ch4$ )を含む波長帯域の検出光を選択する。そして、これらの光レベルが一致するように光源26を制御する。

【0067】波長選択AGBC回路114は、図6に示すAGBC回路に上述の波長選択機能を付加した構成である。このように、第8の光等化増幅器によれば、1本の光ファイバ上に多重する波長の数(チャンネル数)を変更した場合においても、常に実際に信号が転送されている波長のなかで最も短い波長の光レベルと最も長い波長の光レベルとを一致させる利得バランス制御を行うことができる。したがって、システム変更などに対して柔軟に光等化機能を行うことができ、また、その光等化精度が高くなる。

【0068】なお、図15においては、波長選択AGBC回路を用いて励起光の光パワーを制御する方式を示したが、波長選択AGBC回路を用いて可変光減衰器を制御することによって利得バランス制御を行う構成として



もよい。この場合、図4に示す光等化増幅器をベースにした構成とする。

【0069】図17は、第9の態様の光等化増幅器の構成図である。第9の態様の光等化増幅器は、第8の態様の光等化増幅器をベースにし、利得バランス制御をさらに改良している。

【0070】光増幅部120は、波長に対して互いに増幅特性の異なる複数の希土類ドープファイバを設け、各希土類ドープファイバに入力する励起光を個別に制御することによって、より高精度な利得バランス制御を行う。

【0071】希土類ドープファイバ121、122、123は、それぞれ、たとえば、Al-P-EDF、Al-Si-EDF、Al-Ge-Si-EDF系のファイバであり、それぞれ利得の波長特性が異なる。Al-P系エルビウムドープファイバは、短波長側に比べて長波長側の利得が小さい波長特性を有する。Al-Si系エルビウムドープファイバの波長特性は図2に示している。Al-Ge-Si系エルビウムドープファイバは、増幅波長帯域の中央近傍で利得が最大になるような波長特性を有する。

【0072】希土類ドープファイバ121、122、123は、直列に接続されている。光源124、125、126は、それぞれCPU制御回路127の制御に従って希土類ドープファイバ121、122、123に対して励起光を入射する。

【0073】CPU制御回路127は、ホトダイオード113-1～113-nによって検出される各チャンネルの光レベルに基づいて光源124、125、126が生成する励起光の光パワーを制御する。

【0074】図18は、CPU制御回路127の動作を説明するフローチャートである。ここでは、ch1～ch10が波長多重されているとして説明する。図19は、光増幅部120の出力光の例を示す図である。以下では、図19に示す例を参照しながらフローチャートの説明をする。

【0075】ステップS1では、ホトダイオード113-1～113-10によって検出された各チャンネルの光レベルを受信し、各値をそれぞれA/D変換してメモリ(RAM)に取り込む。

【0076】ステップS2では、検出した光レベルが閾値を越えているホトダイオード(ch1～ch5およびch7～ch10に対応するホトダイオード)のうちで最も波長が短いチャンネル(ch1)に対応するホトダイオードおよび最も波長が長いチャンネル(ch10)に対応するホトダイオードを判定する。最も波長が短いチャンネル(ch1)の光パワーをPsとし、最も波長が長いチャンネル(ch10)の光パワーをPlとする。

【0077】ステップS3では、検出した光レベルが最大

プS4においては、PsとPlとの大小関係を調べ、小さい方をPminと設定する。ここでは、ch1の光レベルがch10の光レベルよりも小さいので、 $P_s = P_{min}$ とする。

【0078】ステップS5では、 $P_s / P_{min}$ 、 $Pl / P_{min}$ 、および $P_{max} / P_{min}$ を算出し、それらの算出値に従って光源124～126を制御するための情報を図20に示す制御情報格納テーブルから取り出す。

【0079】制御情報格納テーブルは、 $P_s / P_{min}$ 値、 $Pl / P_{min}$ 値、 $P_{max} / P_{min}$ 値に対して、それぞれ光源124、125、126が生成する励起光の光パワーを指定する情報を格納している。

【0080】ステップS6では、制御情報格納テーブルから取り出した3つの値をそれぞれD/A変換して光源124～126に対して出力する。光増幅部120は、上記したCPU制御回路127の動作により、光源124～126が出力する励起光の光パワーを制御し、出力される波長多重光の各チャンネルの光レベルを互いに等しくする。そして、光増幅部120から出力される波長多重光は、可変光減衰器11の減衰量を制御することによって一定の光レベルに保持される。

【0081】上記実施形態においては、波長多重カプラを用いて特定の波長成分を持つ光を取り出す構成を示したが、特定の波長のみを通過させる光フィルタを用いる構成としてもよい。

【0082】また、上記実施形態においては、各チャンネルの出力レベルを等化する構成を示したが、各チャンネルの出力レベルに所定の傾向を持たせるようにしてもよい。たとえば、波長が長くなるにつれて出力レベルを大きくするように増幅することも可能である。この場合、図6に示すAGBC回路において、基準電圧を適当に設定することによって、あるいは、オペアンプの帰還系を変更することによって実現できる。

【0083】

【発明の効果】本発明の光等化増幅器は、波長多重光を増幅するとき、その平均出力レベルを一定の値に保ちながら様々な波長の光出力レベルを等化することができる。

【0084】平均出力レベルを一定の値に保つ機能と、様々な波長の光出力レベルを等化する機能とを分離したので、各機能の制御が簡単になる。可変光減衰器の減衰量を制御する方式で上記2つの機能のうちの1つを実施する構成であり、可変光減衰器による光減衰レベルの波長依存性は小さい(あるいは、無い)ので、制御が簡単である。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)および(b)は、本発明の光等化増幅器の基本構成を説明する図である。

【図2】希土類ドープファイバ光増幅器の利得の波長特性を示す図である。



15

【図3】波長分離の概念を説明する図である。

【図4】第1の態様の光等化増幅器の構成図である。

【図5】ALC（光出力一定制御）回路の構成例を示す図である。

【図6】AGCC（利得バランス制御）回路の構成例を示す図である。

【図7】第2の態様の光等化増幅器の構成図である。

【図8】AGC（利得一定制御）回路の構成例を示す図である。

【図9】第3の態様の光等化増幅器の構成図である。

【図10】APC（励起光一定制御）回路の構成例を示す図である。

【図11】第4の態様の光等化増幅器の構成図である。

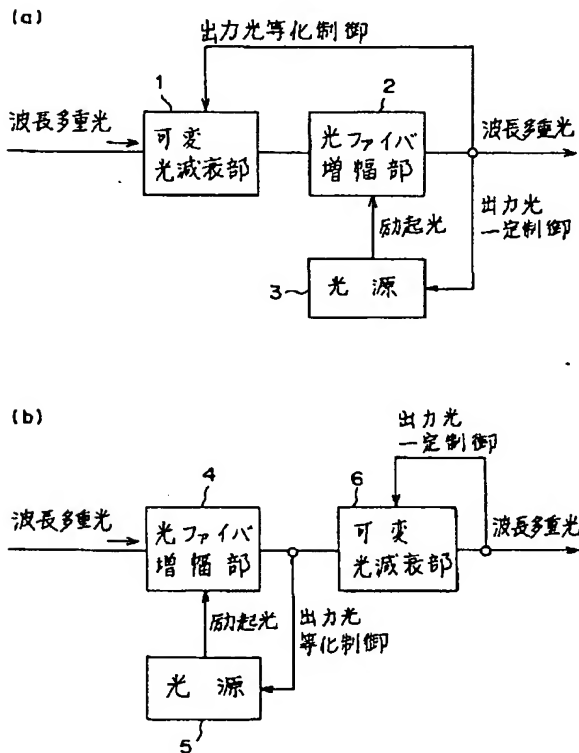
【図12】第5の態様の光等化増幅器の構成図である。

【図13】第6の態様の光等化増幅器の構成図である。

【図14】第7の態様の光等化増幅器の構成図である。

【図1】

本発明の光等化増幅器の基本構成を説明する図



16

【図15】第8の態様の光等化増幅器の構成図である。

【図16】光レベルによって特定の波長を選択する動作を説明する図である。

【図17】第9の態様の光等化増幅器の構成図である。

【図18】CPU制御回路の動作を説明するフローチャートである。

【図19】出力光レベルの例を示す図である。

【図20】制御情報格納テーブルの構成例を示す図である。

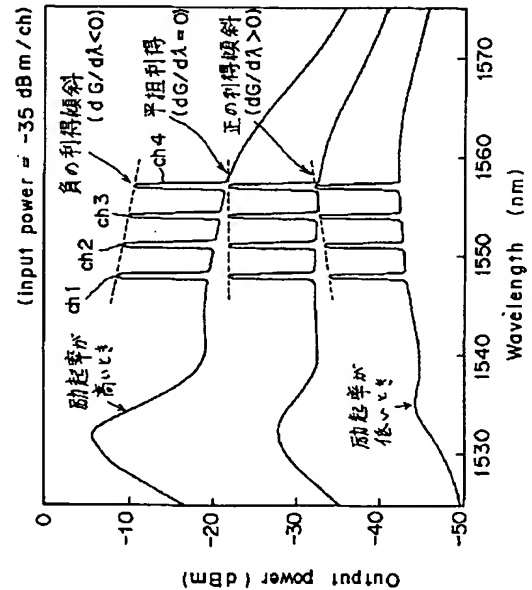
【図21】波長多重伝送における波長と光レベルとの関係を示す図である。

【符号の説明】

- 1、6 可変光減衰部
- 2、4 光ファイバ増幅部
- 3、5 光源

【図2】

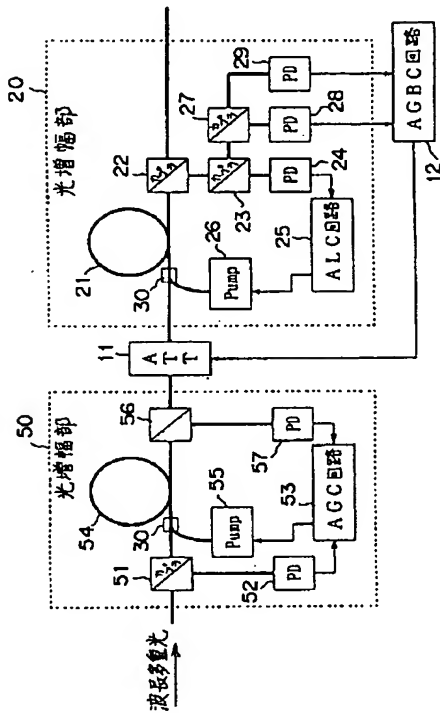
希土類ドープファイバ光増幅器の利得の波長特性を示す図





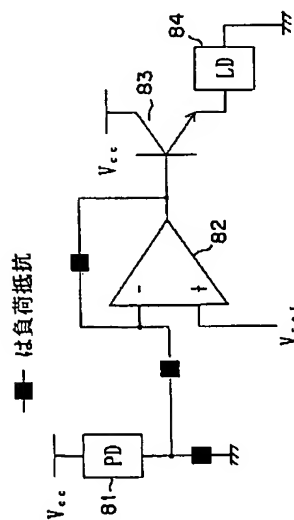
【図7】

第2の態様の光等化増幅器の構成図



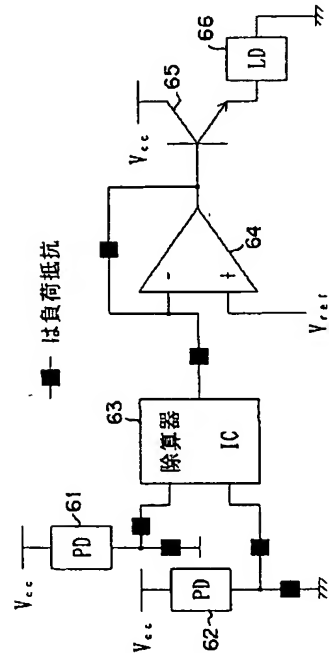
【図10】

APC (励起光一定制御) 回路の構成例を示す図



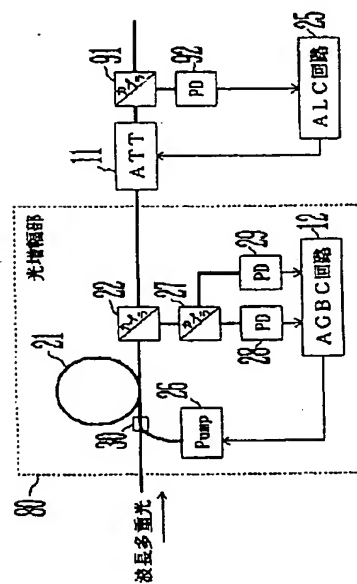
【図8】

AGC (利得一定制御) 回路の構成例を示す図



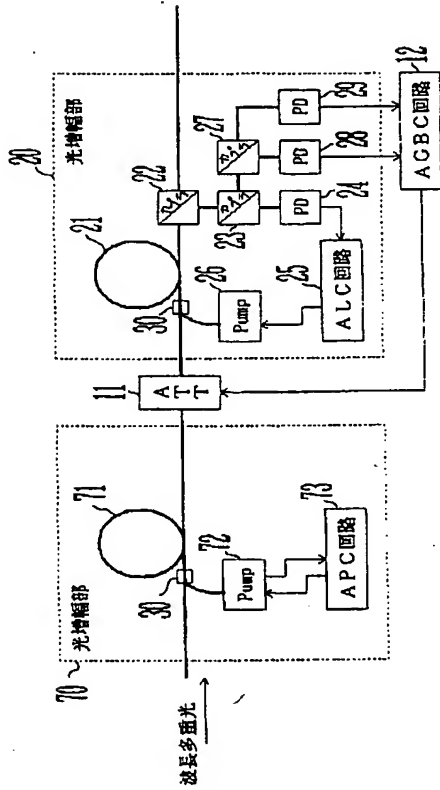
【図11】

第4の態様の光等化増幅器の構成図



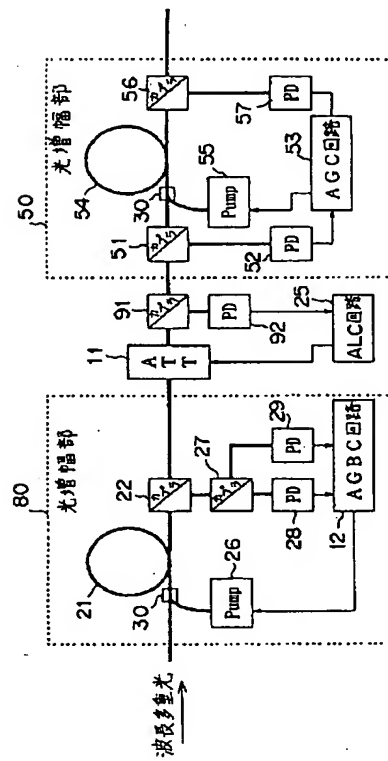
【図9】

第3の態様の光等化増幅器の構成図



【図12】

第5の態様の光等化増幅器の構成図



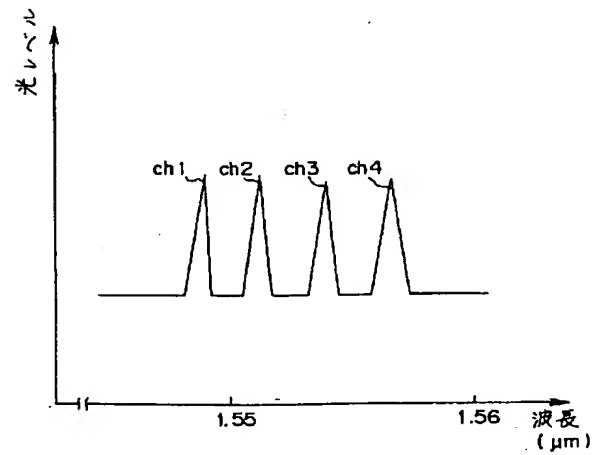
【図20】

制御情報格納テーブルの構成例を示す図

$P_1 / P_{min}$	光源 124	$P_1 / P_{min}$	光源 125	$P_{max} / P_{min}$	光源 126
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...

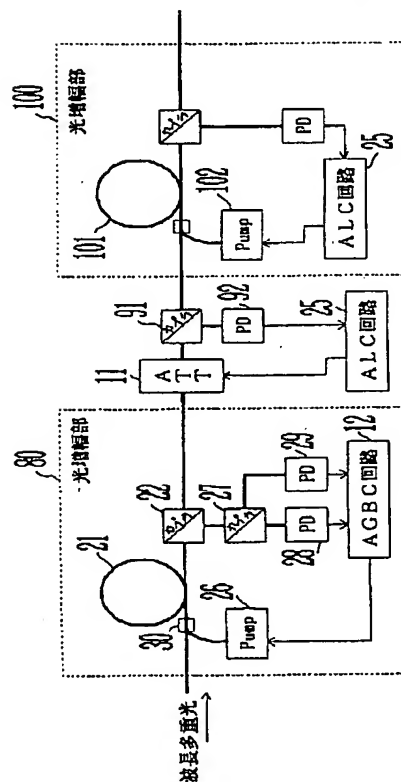
【図21】

波長多重伝送における  
波長と光レベルとの関係を示す図



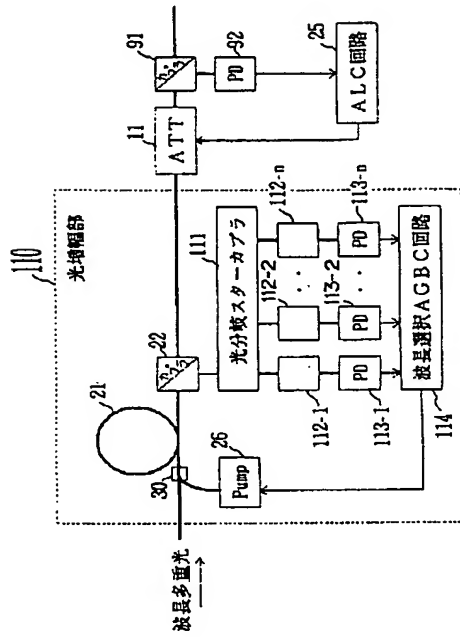
【图 14】

第7の態様の光増幅器の構成図



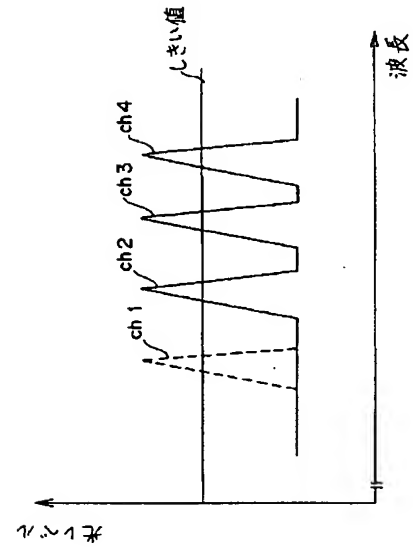
【図15】

第8の態様の光等化増幅器の構成図



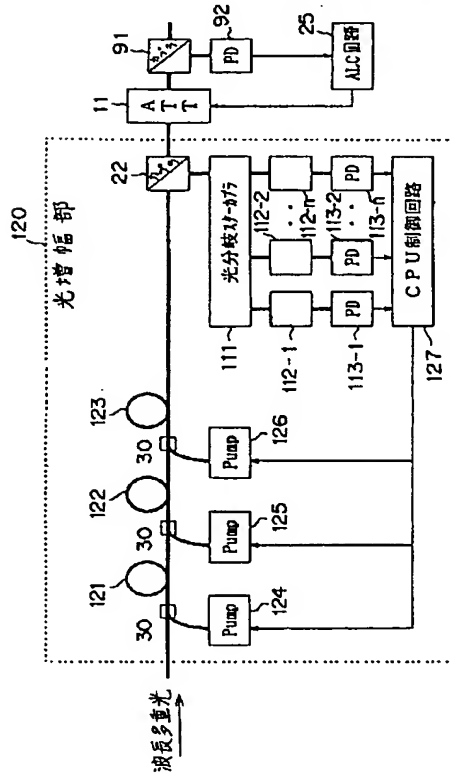
【図16】

光レベルによって特定の波長を選択する動作を説明する図



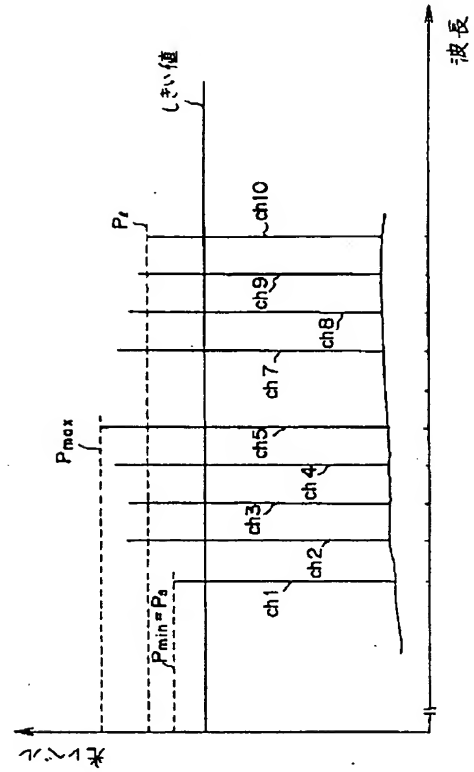
【図17】

第9の態様の光等化増幅器の構成図



【図19】

出力光レベルの例を示す図





【図18】

## CPU制御回路の動作を説明するフローチャート

